

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-064129

(43)Date of publication of application : 07.03.1997

(51)Int.Cl.

H01L 21/66  
H01L 21/3205

(21)Application number : 07-217261

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRON CORP

(22)Date of filing : 25.08.1995

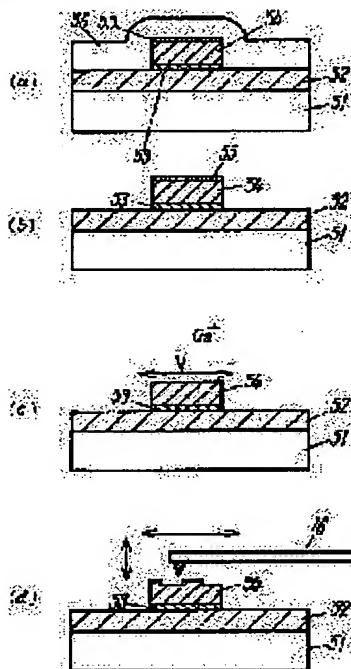
(72)Inventor : YAMASHITA HIROSHI

## (54) APPARATUS AND METHOD FOR ANALYZING SEMICONDUCTOR DEVICE

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To observe the crystal grain size of an aluminum wiring easily.

SOLUTION: The protective film 56 of a semiconductor device is removed by dry etching. An aluminum alloy film or multilayerd aluminum alloy film 54 of the semiconductor device is scanned by a focused ion beam. The aluminum alloy film 54 is scanned by a cantilever 16, interatomic force between the aluminum alloy film 54 and the cantilever 16 is measured, and the surface of the aluminum alloy film 54 is observed.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-64129

(43)公開日 平成9年(1997)3月7日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 L 21/66

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 L 21/66

技術表示箇所

J

L

Z

21/3205

21/88

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 8 頁)

(21)出願番号

特願平7-217261

(22)出願日

平成7年(1995)8月25日

(71)出願人 000005843

松下電子工業株式会社

大阪府高槻市幸町1番1号

(72)発明者 山下 洋

大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業株式会社内

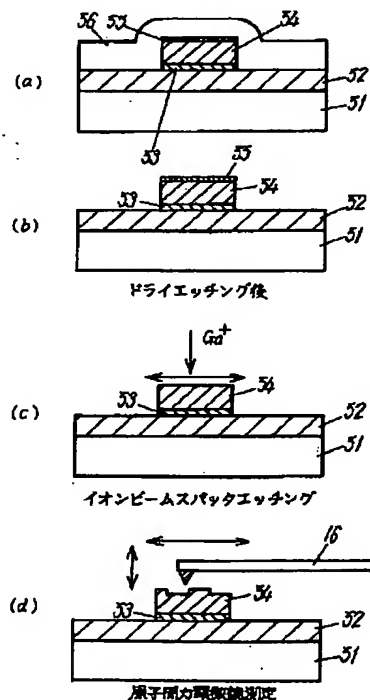
(74)代理人 弁理士 滝本 智之 (外1名)

(54)【発明の名称】 半導体装置の解析装置及び解析方法

(57)【要約】

【目的】 アルミニウム配線の結晶粒径の観察を容易なものとする。

【構成】 半導体装置の保護膜56をドライエッチングで除去する。次に半導体装置のアルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜54に集束イオンビームで走査する。アルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜54にカンチレバー16を走査し、アルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜54とカンチレバー16との間の原子間力を測定し、アルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜54の表面を観察する。



**【特許請求の範囲】**

【請求項1】 半導体装置の任意の場所を走査するための一次ビームを発生する集束イオンビーム源と、前記一次ビームで半導体装置に走査することによって前記半導体装置から発生する二次電子を検出する光電子増倍管と、エッチングガスを導入するノズルと、原子間力を測定する装置とを有することを特徴とする半導体装置の解析装置。

【請求項2】 半導体装置の保護膜をドライエッチングで除去する工程と、前記半導体装置のアルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜に集束イオンビームを走査する工程と、前記アルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜にカンチレバーを走査し、前記アルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜とカンチレバー間の原子間力を測定し、前記アルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜の表面を観察する工程とを有することを特徴とする半導体装置の解析方法。

【請求項3】 半導体装置を劈開する工程と、前記半導体装置の局所部分に集束イオンビームを走査し、エッチングする工程と、前記半導体装置にカンチレバーを走査し、前記半導体装置とカンチレバー間の原子間力を測定し、前記半導体装置およびアルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜の表面を観察する工程とを有することを特徴とする半導体装置の解析方法。

【請求項4】 半導体装置を劈開する工程と、前記半導体装置の局所部分に集束イオンビームを走査し、エッチングする工程と、前記半導体装置の局所部分にエッチングガス雰囲気中で集束イオンビームを走査し、エッチングする工程と、前記半導体装置にカンチレバーを走査し、前記半導体装置とカンチレバー間の原子間力を測定し、前記半導体装置およびアルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜の表面を観察する工程とを有することを特徴とする半導体装置の解析方法。

【請求項5】 エッチングガスとして、 $Cl_2$ 、 $XeF_4$ 、 $I_2$ 、または $ICl$ を用いることを特徴とする請求項4記載の半導体装置の解析方法。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

【産業上の利用分野】 本発明は、半導体装置におけるアルミニウム（A1）配線またはA1合金配線の結晶粒径を観察する解析装置及び解析方法に関するものである。

**【0002】**

【従来の技術】 一般に、半導体装置に用いられるA1配線及びA1合金配線においては、A1が低融点の金属であることから、 $100\sim 200^{\circ}C$ という比較的低い温度でもA1原子が容易にマイグレーションを起こしてしまう。このため、電流負荷によるエレクトロマイグレーション及び熱応力負荷によるストレスマイグレーションが、信頼性を低下させる主な要因の一つとなっている。

【0003】 そこでマイグレーション不良のメカニズムを解明する様々な評価手段が開発されている。たとえば走査イオン顕微鏡（SIM）、透過電子顕微鏡（TEM）を使用してA1配線やA1合金配線の結晶粒径を観察してきた。

**【0004】**

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、たとえばTEMを使用する方法では、TEM試料作製のために多大な時間と労力を要する。また、半導体装置の微細化、高集積化に伴ってA1配線が積層構造となり、試料の作製が困難になってきている。さらに、SIMでは原子半径の大きいイオンを走査するために、得られる像の分解能があまり高くなく、微細な寸法のA1配線の結晶粒径の観察が困難であった。

【0005】 本発明は、このような従来の方法にあった課題を解決するもので、半導体装置の配線を構成するA1膜またはA1合金膜の結晶粒径の観察を簡単にできる解析装置及び解析方法を提供することを目的とする。

**【0006】**

【課題を解決するための手段】 この目的を達成するために、請求項1の発明の半導体装置の解析装置は、半導体装置の任意の場所を走査するための一次ビームを発生する集束イオンビーム源と、一次ビームで半導体装置を走査し、この半導体装置から発生する二次電子を検出する光電子増倍管と、エッチングガスを導入するノズルと、原子間力を測定する装置とを有する。

【0007】 また、請求項2の発明の半導体装置の解析方法は、半導体装置の保護膜をドライエッチングで除去する工程と、半導体装置のアルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜に集束イオンビームを走査する工程と、前記アルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜にカンチレバーを走査し、前記アルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜とカンチレバーとの間の原子間力を測定し、前記アルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜の表面を観察する工程とを有する。

【0008】 また、請求項3の発明の半導体装置の解析方法は、半導体装置を劈開する工程と、前記半導体装置の局所部分に集束イオンビームを走査し、エッチングする工程と、前記半導体装置にカンチレバーを走査し、前記半導体装置とカンチレバー間の原子間力を測定し、前記半導体装置およびアルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜の表面を観察する工程とを有する。

【0009】 また、請求項4の発明の第3の半導体装置の解析方法は、半導体装置を劈開する工程と、前記半導体装置の局所部分に集束イオンビームを走査し、エッチングする工程と、前記半導体装置の局所部分にエッチングガス雰囲気中で集束イオンビームを走査し、エッチングする工程と、前記半導体装置にカンチレバーを走査

し、前記半導体装置とカンチレバー間の原子間力を測定し、前記半導体装置およびアルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜の表面を観察する工程とを有する。

#### 【0010】

【作用】この構成によって、本発明の第1の半導体装置の解析方法では、半導体装置のA1合金膜または積層構造を有するA1合金膜の結晶粒径を容易に観察することができる。これは、半導体装置のA1合金膜または積層構造を有するA1合金膜を集束イオンビームによりスパッタエッチングし、各結晶粒の凹凸を原子間力顕微鏡により検出することにより実現する。

【0011】また、本発明の第2の半導体装置の解析方法では、半導体装置のA1合金膜または積層構造を有するA1合金膜の断面方向の結晶粒径を容易に観察することができる。これは、半導体装置のA1合金膜または積層構造を有するA1合金膜を集束イオンビームによりスパッタエッチングし、各結晶粒の凹凸を原子間力顕微鏡により検出することにより実現する。

【0012】また、本発明の第3の半導体装置の解析方法では、半導体装置のA1合金膜または積層構造を有するA1合金膜の断面方向の結晶粒径を容易に観察することができる。これは、半導体装置のA1合金膜または積層構造を有するA1合金膜を集束イオンビームとエッチングガスによりガスアシストエッチングし、各結晶粒の凹凸を原子間力顕微鏡により検出することにより実現する。

#### 【0013】

【実施例】以下本発明の実施例について、図面を参照しながら説明する。

【0014】図1は本発明の半導体装置の解析装置の構成図である。図1において、1は液体金属イオン源、2はコンデンサーレンズ、3はプランカー、4はスティグメータ、5は対物レンズ、6は偏向器、7は可動絞り、8は光電子増幅器、9はガスノズル、10は半導体装置、11は試料台、12はイオンポンプ、13はターボ分子ポンプ、14はロータリポンプ、15は仕切りバルブ、16はカンチレバー、17はピエゾ素子、18はミラー、19はレーザー、20はフォトディテクター、21は試料台、22は透過ミラー、23は対物レンズ、24はCCDカメラ、25はロックインアンプ、26は共振周波数発生回路、27はターボ分子ポンプ、28はロータリポンプ、29は除振台である。

【0015】図2は本発明の半導体装置の解析装置の回路構成図である。31はイオン源、32はコンデンサーレンズ、33は対物レンズ、34は高圧電源、35はビーム電流制御回路、36は偏向器、37はイオンビーム走査制御回路、38は光電子増幅器、39は差動増幅器、40は光電子増幅器用高圧電源、41は制御、画像処理用コンピュータ、42は表示装置、43はカンチレ

バー、44はピエゾ素子、45は共振周波数発生回路、46はレーザー、47はフォトディテクター、48は増幅器、49は差動増幅器である。

【0016】次にこのような解析装置を用いて第1の実施例の半導体装置のA1合金膜または積層構造を有するA1合金膜の結晶粒径の観察方法について図面を参照しながら説明する。

【0017】図3は本発明の半導体装置の解析方法を示す工程断面図である。図3(a)は半導体装置10の積層配線構造を有する配線部分の断面を示す。図において、51はシリコン基板、52は層間絶縁膜、53はバリアメタル、54はA1合金膜、55はキャップメタル、56は保護膜である。

【0018】図3(a)に示した半導体装置10の保護膜56を、ドライエッチング装置でフロンガス(CF<sub>4</sub>)と酸素との混合ガスを用いて除去し、図3(b)に示すようにキャップメタル55を露出させる。

【0019】次に、たとえば加速電圧30kV、イオンビーム電流150pA、ビーム径0.1μmの正のGa集束イオンビームを半導体装置10上に走査させ、キャップメタル55をスパッタエッチングして、図3(c)に示すように、A1合金膜54を露出させる。優先配向の面、たとえばA1(111)面が選択的にエッチングされ、A1表面に凹凸が形成される。

【0020】図3(d)に断面の凹凸の状態を示す。A1(111)面でエッチング量が多く、A1(100)面、A1(110)面でエッチング量が少ない。

【0021】次に図3(d)に示すように、原子間力顕微鏡(以下AFMという)を用いて、半導体装置10表面上にカンチレバー43を走査する。半導体装置10とカンチレバー43との間の原子間力を測定し、半導体装置10を観察する。

【0022】このとき、AFMの探針8としてSiN針またはSiC針を用いた。AFM測定は原子間力(引力または斥力)を一定に保ったまま行った。

【0023】一般に、イオンビームによる多結晶体のスパッタリング収率は結晶面の方位や結晶粒界、析出物に強く依存する。このことから、AFMの凹凸情報は結晶方位の違いや結晶粒界、析出物によって左右される。結晶粒界では不純物の析出や結晶方位の変化が発生している。このようにして、AFMを使用して結晶粒径観察ができ、高分解能像観察を可能とすることができる。

【0024】AFMの空間分解能はカンチレバー43の曲率半径によって決まり、カンチレバー43が十分に鋭利であれば、0.2nmの分解能が得られる。また、AFMでは酸化膜や窒化膜のような絶縁膜も測定可能であり、半導体デバイスの配線部のみならず半導体デバイスの形状や界面を正確に知ることが可能となる。

【0025】また、本発明ではパターンを形成した半導体装置について説明したが、パターンのないA1合金膜

や積層膜から構成されるA1合金膜の結晶粒径の観察についても同様の効果を得る。

【0026】なお、本実施例では、AFM測定を真空中で行っているが、大気中でもよく、さらに、AFM構成部分はイオンビーム部分と接続されていなくても、同様の効果を得ることができる。

【0027】以下、本発明の第2の実施例の半導体装置のA1合金膜または積層構造を有するA1合金膜の結晶粒径の観察方法について図面を参照しながら説明する。

【0028】図4は本実施例の半導体装置の解析方法を示す構成図である。図4(a)に示す、積層配線構造を有する配線部分を持つ半導体装置10を、図4(b)に示すように、ダイヤモンドペンまたはダイシングソーで劈開する。

【0029】次に図4(c)に示すように、たとえば加速電圧30kV、イオンビーム電流150pA、ビーム径0.1μmの正のGa集束イオンビームで半導体装置10の配線部を走査して、前記半導体装置10をスパッタエッチングし、配線部の断面出しを行う。さらに前記半導体装置10を斜め方向から集束イオンビームを同じ条件で照射し、配線の断面部分をスパッタエッチングする。これにより、図4(e)に示すように、A1合金膜54の部分がバリアメタル53やキャップメタル55といった他の部分に比べて多くエッチングされ、半導体装置10断面に凹凸が形成される。

【0030】次に図4(d)に示すように、AFMを用いて、前記半導体装置10断面上にカンチレバー43を走査し、前記半導体装置10とカンチレバー43との間の原子間力を測定し、前記半導体装置10の断面を観察する。このとき、AFMの探針8としてSiN針またはSiC針を用いた。AFM測定は原子間力(引力または斥力)を一定に保ったまま行った。

【0031】本発明ではパターンを形成した半導体装置について説明したが、パターンのないA1合金膜や積層膜から構成されるA1合金膜の結晶粒径の観察についても同様の効果を得る。

【0032】なお、本実施例では、AFM測定を真空中で行っているが、大気中でもよく、さらに、AFM構成部分はイオンビーム部分と接続されていなくても、同様の効果を得る。

【0033】以下、本発明の第3の実施例の半導体装置のA1合金膜または積層構造を有するA1合金膜の結晶粒径の観察方法について図面を参照しながら説明する。

【0034】図5は本実施例の半導体装置の解析方法を示す構成図である。図5(a)は積層配線構造を有する配線部分を持つ半導体装置10である。

【0035】はじめに図5(b)に示すように、ダイヤモンドペンまたはダイシングソーにより半導体装置10を劈開する。

【0036】次に図5(c)に示すように、たとえば加

速電圧30kV、イオンビーム電流150pA、ビーム径0.1μmの正のGaイオンを集束してイオンビームとし、この集束イオンビームを前記半導体装置10の配線部に走査し、前記半導体装置10をスパッタエッチングし、配線部の断面出しを行う。さらに前記半導体装置10を斜め方向から集束イオンビームを照射すると同時に、エッチングガス、たとえばCl<sub>2</sub>ガスを集束イオンビームの照射領域上にガスノズル9より導入し、A1配線の部分をガスアシストエッチングする。

【0037】図5(e)に示すように、A1合金膜54の部分が、バリアメタル53やキャップメタル55といった他の部分よりも多くエッチングされ、半導体装置10断面に凹凸が形成される。

【0038】次に図5(d)に示すように、AFMを用いて半導体装置10断面上にカンチレバー43を走査し、前記半導体装置10とカンチレバー43との間の原子間力を測定し、前記半導体装置10を観察する。このとき、AFMの探針8としてSiN針またはSiC針を用いた。AFM測定は原子間力(引力または斥力)を一定に保ったまま行った。

【0039】本発明ではパターンを形成した半導体装置について説明したが、パターンのないA1合金膜や積層膜から構成されるA1合金膜の結晶粒径の観察についても同様の効果を得る。

【0040】なお、本実施例では、AFM測定を真空中で行っているが、大気中でもよく、さらに、AFM構成部分はイオンビーム部分と接続されていなくても、同様の効果を得る。

【0041】上述の実施例ではCl<sub>2</sub>をエッチングガスとした場合について説明したが、XeF<sub>2</sub>、I<sub>2</sub>、IClについても同様の効果を得る。

【0042】

【発明の効果】本発明の半導体装置の解析装置は、半導体装置の任意の場所を走査するための一次ビームを発生する集束イオンビーム源と、一次ビームで半導体装置を走査し、この半導体装置から発生する二次電子を検出する光電子増倍管と、エッチングガスを導入するノズルと、原子間力を測定する装置とを有することから、簡単に結晶粒径が識別でき、結晶粒界の詳細な観察を可能にする。

【0043】本発明の第1の半導体装置の解析方法では、半導体装置の保護膜をドライエッチングで除去し、半導体装置のアルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜に集束イオンビームを走査し、さらにアルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜にカンチレバーを走査し、アルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜とカンチレバー間の原子間力を測定し、アルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜の表面を観察することにより、簡単に結晶粒径が識別でき、結晶粒界

の詳細な観察を可能にする。さらに、配線の平面方向の結晶情報を正確に二次元的に画像情報として評価できる。このことから、マイグレーション不良のメカニズムを解明することが期待でき、さらに故障原因を迅速に半導体装置製造工程あるいは半導体装置開発工程へフィードバックでき、半導体装置の歩留まり安定あるいは早期開発への効果が期待できる。

【0044】また、本発明の第2の半導体装置の解析方法では、半導体装置を劈開し、半導体装置の局所部分に集束イオンビームを走査し、エッチングする。さらに半導体装置にカンチレバーを走査し、半導体装置とカンチレバー間の原子間力を測定し、半導体装置およびアルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜表面を観察することにより、簡単に結晶粒径が識別でき、結晶粒界の詳細な観察を可能にする。さらに、配線の断面方向の結晶情報を正確に二次元的に画像情報として評価できることから、本発明は最終工程をへたLSIの深さ(Z)方向に対する面(XY面)の形状情報が明らかになる。また、マイグレーション不良のメカニズムを解明することが期待でき、故障原因を迅速に半導体装置製造工程あるいは半導体装置開発工程へフィードバックでき、半導体装置の歩留まり安定あるいは早期開発への効果が期待できる。

【0045】また、本発明の第3の半導体装置の解析方法では、半導体装置を劈開し、半導体装置の局所部分に集束イオンビームを走査し、エッチングする。さらに半導体装置の局所部分にエッチングガス雰囲気中で集束イオンビームを走査し、エッチングする。半導体装置にカンチレバーを走査し、半導体装置とカンチレバーとの間の原子間力を測定し、半導体装置およびアルミニウム合金膜または積層構造を有するアルミニウム合金膜の表面を観察することにより、簡単に結晶粒径が識別でき、結晶粒界の詳細な観察を可能にする。さらに、配線の断面方向の結晶情報を正確に二次元的に画像情報として評価できることから、本発明は最終工程をへたLSIの深さ(Z)方向に対する面(XY面)の形状情報が明らかになる。また、マイグレーション不良のメカニズムを解明することが期待でき、さらに故障原因を迅速に半導体装置製造工程あるいは半導体装置開発工程へフィードバックでき、半導体装置の歩留まり安定あるいは早期開発への効果が期待できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の半導体装置の解析装置の構成図

【図2】本発明の半導体装置の解析装置の回路構成図

【図3】本発明の第1の実施例の半導体装置の解析方法を示す工程断面図

【図4】本発明の第2の実施例の半導体装置の解析方法を示す構成図

【図5】本発明の第3の実施例の半導体装置の解析方法を示す構成図

#### 【符号の説明】

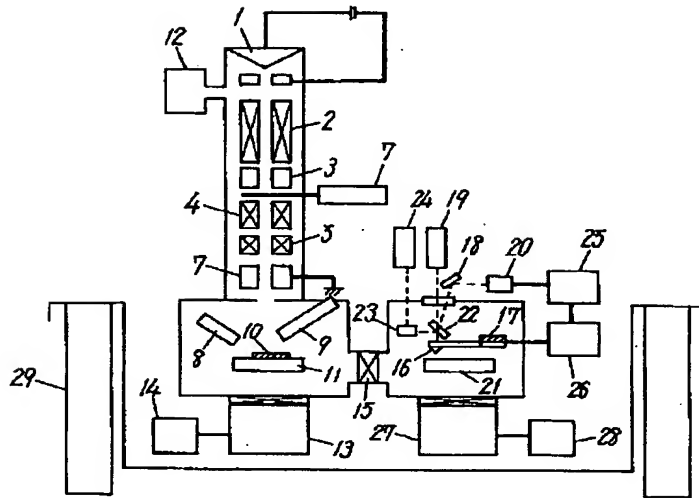
- 1 液体金属イオン源
- 2 コンデンサーレンズ
- 3 ブランカー
- 4 スティグメータ
- 5 対物レンズ
- 6 偏向器
- 7 可動絞り
- 8 光電子増幅器
- 9 ガスノズル
- 10 半導体装置
- 11 試料台
- 12 イオンポンプ
- 13 ターボ分子ポンプ
- 14 ロータリポンプ
- 15 仕切りバルブ
- 16 カンチレバー
- 17 ピエゾ素子
- 18 ミラー
- 19 レーザー
- 20 フォトディテクター
- 21 試料台
- 22 透過ミラー
- 23 対物レンズ
- 24 CCDカメラ
- 25 ロックインアンプ
- 26 共振周波数発生回路
- 27 ターボ分子ポンプ
- 28 ロータリポンプ
- 29 除振台
- 30 イオン源
- 31 コンデンサーレンズ
- 32 対物レンズ
- 33 高圧電源
- 34 ビーム電流制御回路
- 35 偏向器
- 36 イオンビーム走査制御回路
- 37 光電子増幅器
- 38 差動増幅器
- 39 光電子増幅器用高圧電源
- 40 制御、画像処理用コンピュータ
- 41 表示装置
- 42 カンチレバー
- 43 ピエゾ素子
- 44 共振周波数発生回路
- 45 レーザー
- 46 フォトディテクター
- 47 増幅器
- 48 差動増幅器
- 49 シリコン基板
- 50

- 52 層間絶縁膜  
 53 バリアメタル  
 54 Al合金膜

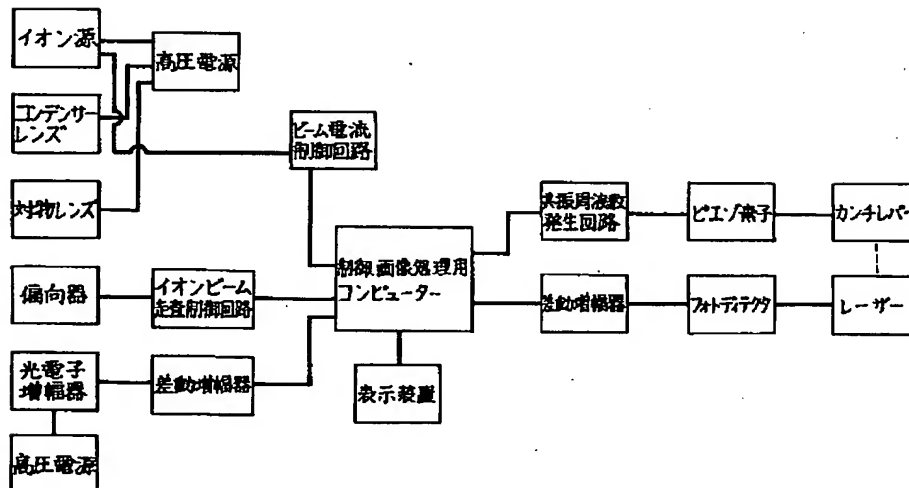
- \* 55 キャップメタル  
 56 保護膜

\*

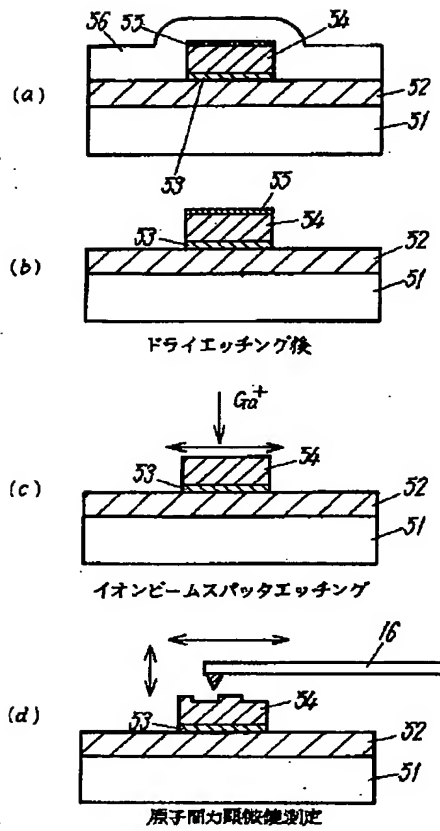
【図1】 ← FIG. 1



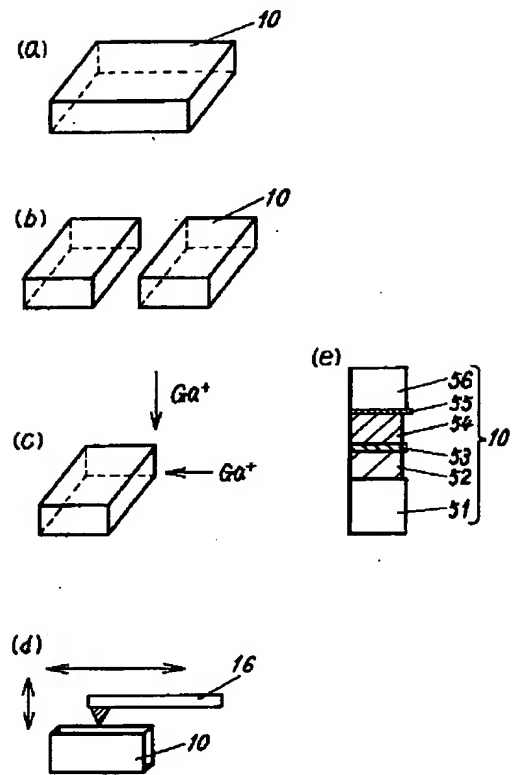
【図2】



【図3】



【図4】





【図 5】

